

Estudio de las mineralizaciones de plomo-zinc-cobre del Permotrias del Complejo Maláguide en los alrededores de Vélez Rubio (Almería) (*)

A. CARRASCO CANTOS (**), R. CASTROVIEJO BOLIBAR (**), M. C. FERNANDEZ-LUANCO (**),
L. MARTIN GARCIA (**) y S. RIOS ARAGÜES (**)

RESUMEN

Tras un breve encuadre geológico regional del área estudiada, se comentan someramente las características del Complejo Maláguide en las inmediaciones de Vélez Rubio.

Posteriormente se describen los aspectos litoestratigráficos y sedimentológicos de los materiales permotriásicos del Complejo Maláguide, con los cuales se ligan las mineralizaciones de Pb-Zn-Cu objeto de esta nota. Se distinguen cinco tramos litológicos fundamentales, que han sido correlacionados entre las diversas zonas con indicios de Pb-Zn. Los estudios sedimentológicos parecen indicar que la sucesión de estos tramos constituye una secuencia positiva que abarca desde depósitos típicamente fluviales a sedimentos formados en medio lacustre o de aguas marinas someras.

La mineralización, sobre todo de Pb, es objeto de un detallado estudio mineralógico y textural, en el cual se apoya la interpretación genética, que aboga por un origen sedimentario de la misma.

ABSTRACT

A short introduction to the regional geology of the area is presented here, the characteristics of the «Complejo Maláguide» in the vicinity of Vélez Rubio also being briefly reviewed.

The studied Pb-Zn-Cu ores are connected to the Permotriassic materials of the «Complejo Maláguide», whose lithoestratigraphic and sedimentological aspects are herein described. Five fundamental lithological levels are distinguished, the relationship of which with the different Pb-Zn mineral-bearing zones is established. The sedimentological history shows that they are probably due to a positive sequence, which consists of deposits ranging from typically fluvial to lake or shallow sea sediments.

A detailed study of the mainly Pb bearing ore minerals has been done and its different structures and fabric-types are shown.

A sedimentary genesis is postulated for the ores.

1. INTRODUCCION

Alfonso de Sierra, en su obra «Hierros de Almería y Granada», cita la existencia de plomo y cobre en los parajes del Cerro de Las Animas, Cerros de La Monja y El Fraile, entre Chirivel y Vélez Rubio.

Desde la confección del Mapa Metalogenético de España a escala 1:200.000, hoja núm. 78 (BAZA) en el año 1971, se mantuvo cierta atención a los

numerosos indicios de mineralización existentes, interés que se corroboró posteriormente durante el desarrollo de trabajos para la realización de la hoja núm. 974 (Vélez Rubio) elaborada por ENADIMSA (año 1973) para el Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1:50.000.

La mineralización, difícil de identificar por el grado de oxidación en superficie de los sulfuros, no pasó desapercibida a los mineros antiguos, que intentaron a finales de siglo pasado y principios del actual la explotación de aquellas bonanzas que resultaban beneficiables en la medida de la tecnología de la época.

Así, en el Cerro de Las Animas, en el año 1874, se demarcaron las concesiones «Divina Providencia» y «San Francisco», y al año 1900 pertenecen

(*) Los autores agradecen al INI y a la E. N. Adaro su autorización para publicar esta nota. Asimismo agradecen su contribución al desarrollo y/o programación de los trabajos realizados a los señores J. Armengot, J. Iglesias, P. Martín y R. del Rey.

(**) Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.

las denominadas «Municiones», «Virgen de los Dolores», «Milagro de San Antonio» y «El Carmen de San Diego». Toda la minería existente se centró en la realización de varios pozos, de labores de escaso desarrollo longitudinal y vertical y en la apertura de dos canteras.

Esta publicación ofrece una interpretación geológico-metalogénica, que es fruto de los trabajos que la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras ha desarrollado en torno a estas mineralizaciones, principalmente durante 1977.

2. ENCUADRE GEOLOGICO REGIONAL

Los indicios de Zn-Pb-Cu se encuentran en las inmediaciones de Vélez Rubio, en la cordillera Bética (fig. 1).

Las unidades litoestratigráficas en la transversal de Vélez Rubio corresponden a distintas unidades tectónicas mayores (de Norte a Sur: Zona

Subbética, Complejo Maláguide y Complejo Alpujárride). Entre el Subbético y el Bético de Málaga existe un número de formaciones de edad Terciaria, llamadas Unidades Intermedias. Su asignación a una u otra de las zonas anteriormente citadas está sometida aún a discusión.

Las mineralizaciones de Pb-Zn-Cu, van ligadas a varios tramos litológicos del Permotriás del Complejo Maláguide.

Los materiales maláguides se disponen, en las inmediaciones de Vélez Rubio, a lo largo de una estrecha banda. Dicha banda está limitada al Sur por una falla regional muy rectilínea, en la que, en algunos puntos (p. e., en la carretera a unos 1,5 Km. al SE de Vélez Rubio) hemos observado estrías subhorizontales. Presenta una dirección media N 70 E y aparece como falla inversa separando al Sur el Complejo Alpujárride, en el que DEVRIES y ZWAAN (1967) distinguen las siguientes formaciones:

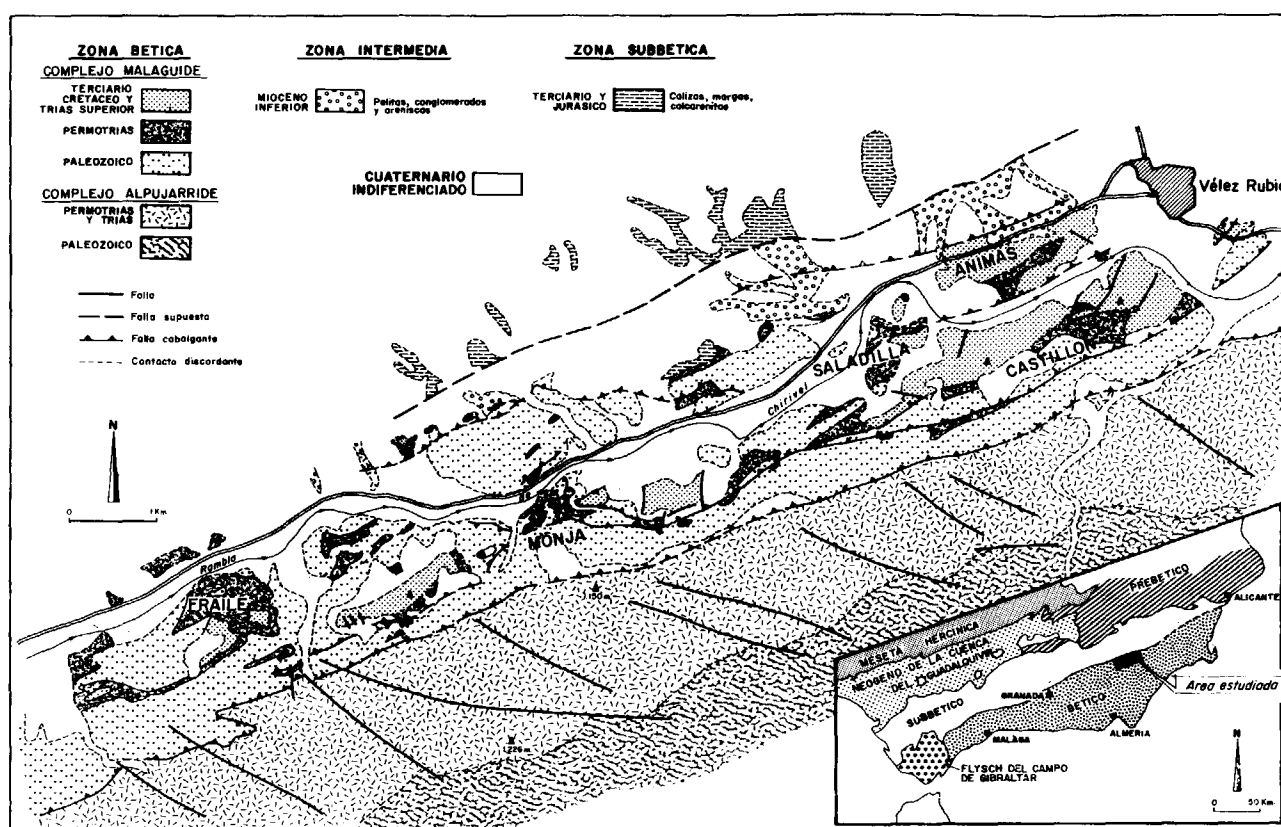


Figura 1

Bosquejo geológico de las zonas con mineralizaciones de Pb-Zn-Cu (simplificado a partir del MAGNA, Hoja número 974).

- Formación Estancias (Triásico). Calizas y Dolomías, con restos de Crinoides, fragmentos de conchas y algas calcáreas.
- Formación Tonosa (Permotriásico). Filitas grises y azuladas, cuarcitas y filitas aceradas y metabasitas.
- Formación Los Morenos (Devono-Carbonífero). Filitas con grafito y cuarcitas, metabasitas.
- Formación Montesinos (Paleozoico y más antiguo). Micasquitos y cuarcitas. Micas con granate y metabasitas.

Al Norte, el Complejo Maláguide está separado del Subbético por el Corredor de Vélez Rubio (unidades intermedias), bajo el cual ANDRIEUX y col. (1971) deducen el borde N de la sub-placa de Alborán, que habría funcionado en esta zona como falla de desgarre dextra, y que separa la zona interna (Bético s. str.) de la zona externa (Subbético-Prebético).

Se ve, pues, que las mineralizaciones de Pb-Zn-Cu se ubican en los materiales alóctonos maláguides a lo largo de un estrecho corredor de unos 2,5 Km. de anchura, limitado por fallas regionales importantes. Ello dificulta en extremo cualquier reconstitución paleogeográfica.

La serie Maláguide, en los alrededores de Vélez

Rubio, se encuentra por ello sumamente trastornada por fallas de todo tipo, abundando las cabalgantes con buzamiento Norte. Se distinguen tres formaciones:

- Paleozoico (formación Piar de T. GEEL, 1973). Formación potente de pizarras y arenisca con cantidades menores de calizas y filitas de edad Silúrico a Carbonífero. Su base es desconocida. A techo se encuentran generalmente niveles de conglomerados con fragmentos de calizas fosilíferas.
- Permotriás (formación Saladilla). Por ser la portadora de la mineralización, se describe con detalle en el apartado 3. En la base se encuentran casi siempre conglomerados.
- Materiales superiores (formación Castellón). Fundamentalmente compuesta de calizas y dolomías. Se le asigna una edad comprendida entre el Triás Superior y el Cretácico Inferior. La potencia varía de 50 a 300 m.

3. CARACTERES LITOESTRATIGRAFICOS DEL PERMOTRIAS MALAGUIDE

3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES

En la figura 2 se muestran los perfiles litoestratigráficos esquemáticos de los distintos sectores.

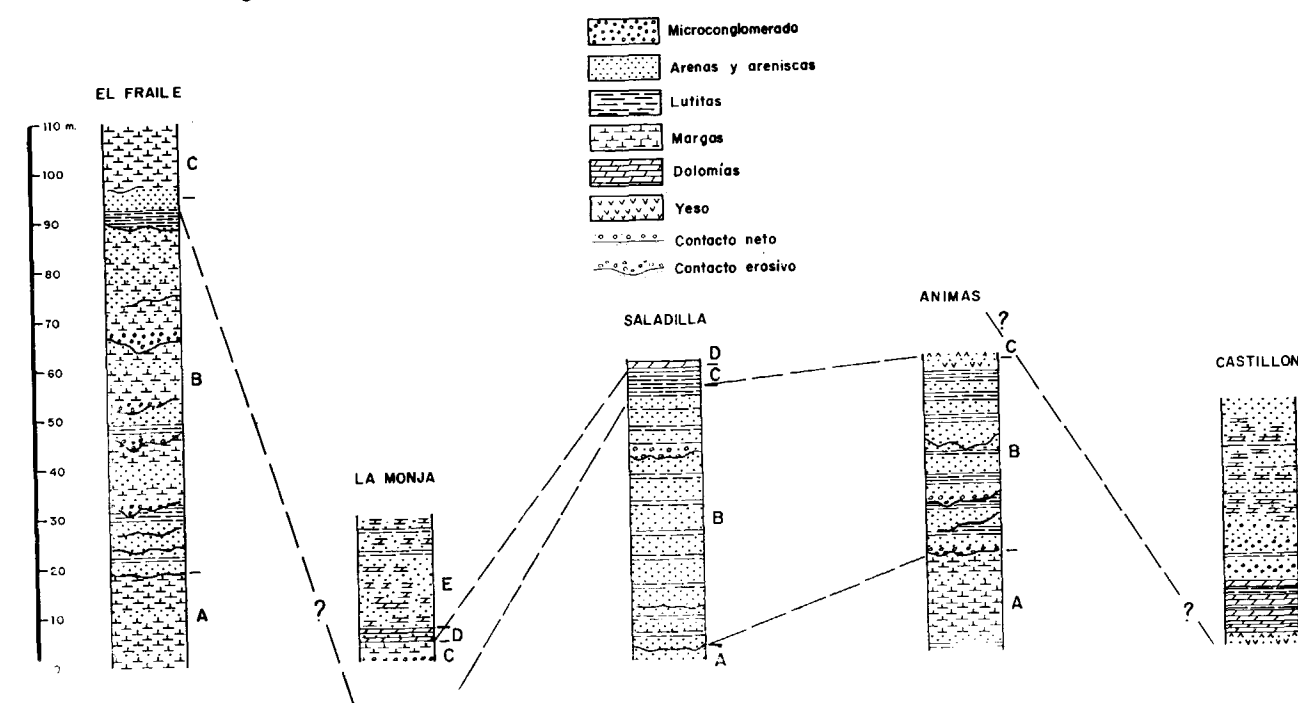


Figura 2

Secciones estratigráficas esquemáticas del Permo-Triás.

Se han realizado varios cortes litoestratigráficos de detalle, a escala 1:100 y 1:50, según las condiciones de observación, distribuidos en los distintos sectores en que se divide la zona de estudio (El Fraile, La Monja, Saladilla, Animas y Castillón) (fig. 1). Excepto en las realizadas en Las Animas, todos los cortes se han efectuado en las calicatas abiertas para la investigación minera, lo que supone una cierta dificultad para la observación de las estructuras sedimentarias primarias de mayor escala.

El estudio de campo se ha completado con análisis de laboratorio (granulometría, estudio petrológico en lámina transparente).

Se pueden distinguir cinco tramos, si bien la correlación establecida entre los distintos sectores es meramente hipotética, ya que no se poseen datos suficientes para establecerla con carácter definitivo.

A los tramos distinguidos se les denomina, de muro a techo:

- A) Lutitas, margas y arenas de color rojizo.
- B) Conglomerados, arenas y areniscas de colores variados, predominando los pardos y rosáceos con pasadas lutíticas de tonos claros.

En este tramo son muy abundantes los depósitos de relleno de canales.

- C) Margas, arcillas y lutitas con yeso disperso.

D) Tramo dolomítico, que incluye dolomías de color gris verdoso a pardo con abundantes dendritas de manganeso. Son frecuentes también los niveles yesíferos, que llegan a ser muy abundantes y con carácter masivo en el sector del Castillón.

- E) Conglomerados, arenas y areniscas con cemento dolomítico. Hay pasadas lutíticas.

Tramo A

Está bien representado en el sector del Fraile y de Las Animas; constituido por arenas, lutitas y margas, con algunas pasadas conglomeráticas. La composición mineralógica media de las areniscas para los constituyentes fundamentales es de 50 por 100 de cuarzo, 3 por 100 de feldespatos, 7 por 100 de fragmentos de roca (fundamentalmente metamórfica). Como accesorios y por orden

de abundancia hay micas y turmalina. Poseen cemento carbonatado muy abundante y frecuente matriz arcillosa. Siguiendo la clasificación de R. Folk, se incluyen en el grupo de las cuarzarenitas con feldespatos y fragmentos de rocas.

Los conglomerados están constituidos esencialmente por cantos de cuarzo, metacuarcitas y chert; bastante mal calibrados y poco redondeados.

Los niveles lutíticos, mejor representados que los conglomerados y areniscas, corresponden a margas y lutitas ferruginosas con cemento carbonatado. La fracción más gruesa está formada por cuarzo y escasos feldespatos calcosódicos; la matriz arcillosa aparece impregnada de óxidos de hierro, existiendo micas de disposición laminar. El redondeamiento es malo.

Las estructuras sedimentarias primarias no son muy abundantes; sólo se encuentran algunos ejemplos de megaestratificación cruzada debida a migración de ripples y laminación; esto, junto con la coloración roja, pobreza de calibrado y la presencia de secuencias de conglomerados, arenas y lutitas, nos hace pensar en un medio ambiente de depósito típico de pie de monte o de abanico aluvial, en un clima probablemente semiárido, con corrientes episódicas y «mud-flows».

Tramo B

Consideramos como tramo B al conjunto de conglomerados, arenas y areniscas de colores diversos, tonos claros y con un marcado carácter fluvial.

Los conglomerados están constituidos por cantos predominantemente de cuarzo y cuarcitas con tamaños medios de 0,5 a 1 cm., por lo general con grandes romboedros de dolomías y óxidos de hierro de distribución irregular. La matriz es areniscosa y mineralógicamente constituida por cuarzo (40 por 100), feldespatos (6 por 100) y fragmentos de rocas metamórficas (y en menor proporción chert, 1 por 100) y arcillas. Se observa una heterometría muy marcada, que puede deberse a la fracturación de granos tras el depósito; esto hace que el grado de redondeamiento varíe considerablemente según el tamaño.

Las arenas y areniscas mineralógicamente están constituidas por cuarzo (75-90 por 100), feldespatos (5-15 por 100), fragmentos de rocas metamórficas (2-9 por 100) y chert (1-3 por 100), como

elementos fundamentales. Como accesorios: opacos, micas, turmalina, zircón y rutilo, todo ello cementado por carbonatos. Los granos de cuarzo se presentan rotos en fracturas paralelas y corroídos por los cementos carbonatados. A veces se observan indicios de un segundo ciclo de sedimentación; es decir, granos redondeados, recrecidos, rotos y redondeados de nuevo antes de un segundo depósito.

Los feldespatos son tanto potásicos (microclina y ortosa), como calcosódicos maclados, algo alterados y corroídos.

Hay dos tipos de cemento carbonatado: dolomítico y calcítico. En algunas muestras coexisten ambos, en cuyo caso, el cemento calcítico es posterior al dolomítico. A veces aparece cemento ferruginoso.

En algunas muestras se observa la existencia de una matriz sericítica que procede de la alteración de los feldespatos.

Por último hay que señalar la presencia en algunas muestras de nódulos o concreciones carbonatados propios de paleosuelos en climas áridos. Dichas concreciones parecen redepositadas.

En cuanto a los niveles lutíticos presentan idénticas características que las señaladas para el tramo A.

Son muy frecuentes las estructuras sedimentarias primarias, fundamentalmente la megaestratificación cruzada, tanto tabular como en surco, laminación, ripples, «climbing ripples», «scour and fill», etc.

Todo este tramo corresponde a secuencias fluviales, pudiéndose distinguir como subambientes fluviales los depósitos de rellenos de canal (paleocanales) y depósitos típicos de «overbank», y/o llanura de inundación.

Es difícil deducir si los rellenos de canales son propios de ríos meandriformes o de ríos anastomosados, ya que faltan o no se observan con claridad secuencias de acreción lateral propios de ríos meandriformes o depósitos de barros propios de ríos anastomosados. En todo caso, la ausencia de elementos groseros, la poca importancia de los depósitos de «channel lag», la relativa madurez textural de los sedimentos y la existencia de «climbing ripples», nos hace pensar en ríos de

poca energía, próximos a la desembocadura, que podría situarse en aguas marinas someras o en un gran lago.

La dirección de las paleocorrientes, obtenida a través del estudio de la estratificación cruzada y ripples, indican un sentido de aportes con componente S.-N. (N. 20 W. a N. 30 E.); por supuesto que estas medidas se refieren a la situación actual de los cuerpos sedimentarios, sin considerar la tectónica que ha afectado a estos materiales tras su depósito.

El tramo B sólo se encuentra representado en los sectores de El Fraile, La Saladilla y Las Animas. En El Castillón, la presencia de cuerpos areniscosos con características semejantes, podría atribuirse a dicho tramo, sin embargo, existe la duda de la posición relativa de los distintos cuerpos, debido a la existencia de fracturas que han podido afectar a estos materiales.

Tramo C

Está representado en todos los sectores estudiados, si bien con distinto desarrollo.

Litológicamente está compuesto por margas y lutitas con yeso disperso, de colores abigarrados.

Pueden considerarse como la transición entre el ambiente típicamente fluvial en que se depositan los materiales del tramo B y el medio de aguas someras lacustres en que se han formado los yesos masivos y dolomías del tramo suprayacente; por ello podríamos incluirlos en el ciclo fluvial, como culminación del mismo.

Tramo D

Constituido por dolomías y yesos. Aparece muy bien representado en El Castillón, y con menor desarrollo en La Saladilla y La Monja. Hay dolomías uniformes de grano muy fino (dolomicritas), bien estratificadas, y sin aportes terrígenos, en las que se observa un cemento dolomítico de grano grueso, con el cual coexisten cubos de galena, que llegan a tener hasta varios milímetros de arista.

También existe otro tipo de dolomía, de color castaño verdoso, de grano grueso y con restos de estructuras posiblemente orgánicas del tipo «algal mats».

Junto con las dolomías aparecen yesos, que en

El Castellón llegan a ser masivos y de cierta potencia.

Estos materiales pueden haberse depositado en un medio ambiente de aguas marinas someras o bien lacustre, aunque la presencia de yesos nos hace pensar en un medio preferentemente marino somero restringido, de tipo evaporítico.

Tramo E

Representado solamente en La Monja y El Castellón. Está constituido fundamentalmente por conglomerados y areniscas, a veces con abundante cemento dolomítico, con romboedros de dolomías zonados y con óxidos de hierro. Existen pasadas lutíticas, poco abundantes. Mineralógicamente, las areniscas están formadas por cuarzo (85 por 100), feldespatos (5 por 100) y fragmentos de rocas (5 por 100) con concreciones carbonatadas rodadas.

Los conglomerados, a veces muy cementados, están formados por fragmentos de cuarzo lechoso, jaspe rojo, cuarcitas, chert negro y fragmentos de rocas volcánicas amarillentas. Con mucha menor frecuencia se observan algunos fragmentos de rocas carbonatadas.

La existencia de megaestratificación cruzada de muy poco ángulo, las facetas texturales que presentan los cantos, propias de un medio agitado (tal vez costas), la abundancia de cemento, así como la posible bioturbación, hace pensar que el medio ambiente de depósito para este tramo sea marino de playa.

3.2. CONCLUSIONES ESTRATIGRÁFICAS

Todo parece indicar que la sucesión de tramos desde el A al E, constituye una secuencia positiva que abarca desde depósitos típicamente fluviales a sedimentos formados en medio lacustre o de aguas marinas someras. Es en el sector de La Saladilla donde la secuencia es más completa, por lo que nos basamos en ella para establecer la correlación con los demás sectores. El problema puede plantearse en la zona de La Monja y El Castellón, donde al parecer sólo son observables los términos finales de esta secuencia transgresiva. Cabría pensar que la ausencia de los tramos fluviales en esta zona obedezca a hechos tectónicos; pero el contacto con términos infrayacentes no parece tener este origen, por lo que nos sen-

timos inclinados a considerar como hipótesis más probable el hecho de que en los sectores indicados únicamente se depositaran sedimentos sólo durante la última fase de la evolución secuencial representada, por lo cual los materiales de dichos sectores serían correlacionables con los tramos superiores de La Saladilla.

Hemos de considerar también que en Las Animas falta todo el tramo evaporítico suprayacente a las arenas mineralizadas; esto puede deberse, como hipótesis más verosímil, a la existencia de importantes accidentes tectónicos que eliminan parte de la serie.

4. ESTUDIO DE LAS MINERALIZACIONES

La mineralización sólo aparece en dos tipos de rocas: areniscas y dolomías —empleamos aquí estos términos en su acepción más general, sin tener en cuenta las particularidades y variaciones que pueden existir y que ya se han expuesto—, apareciendo las primeras mineralizadas en los Cerros de Las Animas, La Saladilla, La Monja, El Fraile y Castellón, mientras que las segundas sólo lo están en este último.

Referiremos, por tanto, el estudio metalogénico a estos dos tipos de mineralización, comenzando por una breve descripción general, para hablar luego de aquellas zonas que tuviesen alguna particularidad digna de mención y proponer, finalmente, una interpretación genética de estos depósitos. En el estudio microscópico que sigue, y por lo que se refiere a la petrografía, nos limitaremos a destacar o recordar los aspectos que puedan tener algún significado metalogénico.

4.1. BREVE DESCRIPCIÓN MESOSCÓPICA DE LAS MINERALIZACIONES. ARENISCAS. DOLOMÍAS.

Areniscas

En los niveles mineralizados —blancos, grisáceos o amarillos—, que llamamos «areniscas blancas», se observan abundantes rasgos sedimentarios primarios, por ejemplo estratificación cruzada, que a veces aparece resaltada por un fino punteado negro que a simple vista aparece debido a la galena, pero que al microscopio se revela ser debido generalmente a minerales titaníferos (rutilo, esfena, etc.), como puede también compro-

barse en el campo con los reactivos adecuados. No obstante, la mineralización es también visible a simple vista, ya sea en formas elongadas o vetillas (inferiores a 1 cm. de potencia siempre, generalmente de pocos milímetros), ya en diseminaciones o «nubes», ya en una especie de nódulos negros redondeados, cuyo diámetro suele ser de algunos milímetros, aunque excepcionalmente puede pasar del centímetro, ya como impregnación (minerales de cobre).

Dolomías

El caso más general es el de una roca gris, homogénea y de grano fino, más o menos tectonizada, que en algunas zonas contiene cristales de galena que llegan a tener algunos milímetros de diámetro y tienden al idiomorfismo. Observando con atención puede apreciarse que estos cristales se sitúan generalmente en fracturillas, en las que hay también dolomita recrystalizada.

La roca está a veces brechificada y también mineralizada.

También se ha encontrado galena relativamente abundante en otra roca dolomítica, brechificada, cuya adscripción al nivel precedente es dudosa.

4.2. ESTUDIO MICROSCÓPICO. ARENISCAS. DOLOMÍAS.

Cuanto sigue se refiere exclusivamente a los niveles mineralizados.

4.2.1. Areniscas

La observación microscópica prueba la actuación de una tectónica intensa. Además, aparte la frecuente alteración a productos arcillosos, los feldespatos parecen haber sufrido a veces acciones metasomáticas (p. ejem., potasificación de la albita).

En algunos casos se ha visto algo de materia orgánica diseminada y también una ligera impregnación de pirita en la roca.

Minerales de Cu

Sólo abundan en dos zonas: los cerros de Las Animas y de La Saladilla, donde se presentan formando parte del cemento y soldando granos detríticos o fragmentos de microbrechas, aunque algunas veces también rellenan vetillas a escala

microscópica (removilización tectónica); en general, puede decirse que forman una impregnación de riqueza muy variable (el cemento puede llegar a estar formado por azurita o malaquita puras, pero sólo a escala microscópica), ocasionalmente asociada con minerales descendentes de hierro (limonita, jarosita...) y que suele preceder a la mineralización de Pb, desde el punto de vista estratigráfico (en La Saladilla hay una zona en que coexisten ambas mineralizaciones, pero al ascender desaparece el Cu). Predominan las formas oxidadas (malaquita, azurita, crisocola), sobre todo los carbonatos, pero también se ven sulfuros (calcosina, covelina), aunque éstos son más escasos. No es raro que los carbonatos de Cu y Pb aparezcan asociados; también se encuentra calcosina asociada con galena, alrededor de la cual se deposita a veces en forma de corona o halo, pero esto está ligado ya a procesos de cementación, desde el punto de vista genético (fig. 3).

Aparte de estas mineralizaciones, predominantemente cupríferas, aparecen también calcosina y covelina como acompañantes (ocasionales y escasos) de galena en las zonas plumbíferas.

Minerales de Zn

El único cuya presencia en superficie se ha podido comprobar (microscópicamente y por difracción de Rayos X) es smithsonita, que aparece mezclada con otros carbonatos —entre ellos ceru-



Figura 3

Galena (blanca), rodeada de calcosina (gris claro) y parcialmente alterada a cerusita (gris); obsérvese cómo los granos de cuarzo (grisáceo) han sido corroídos por la mineralización. Muestra de arenisca tomada en los indicios cupríferos de Saladilla. Luz reflejada, N//.

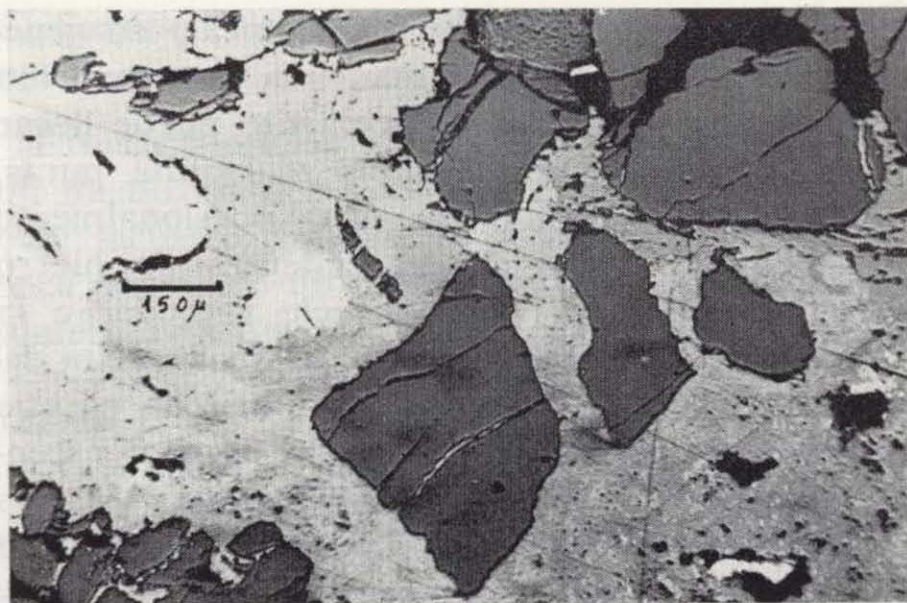


Figura 4

Lentejoncillo de galena (blanca) asociada a covelina (no visible en fotografía) y casi totalmente sustituida por cerusita (gris clara, con diferentes tonalidades debidas al cambio de relieve, y plagada de pequeñas inclusiones residuales de galena); granos detríticos de cuarzo (gris oscuro) tectonizados e intensamente corroídos por la mineralización. Muestra, etc., íd. fig. anterior.

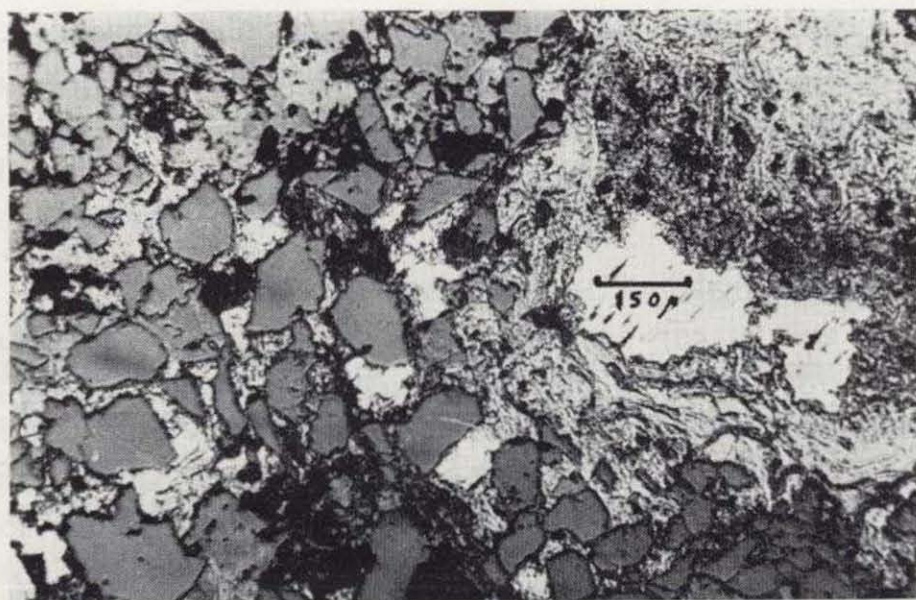


Figura 5

Seudo-veta o lentejoncillo —el estudio microscópico revela que no se trata sino de pequeños desgarres discontinuos— de galena en arenisca: galena (blanca) cementa el cuarzo (gris oscuro) de arenisca y rellena por secreción lateral la fracturilla lenticular, cuya parte final se ve en la fotografía. Corrosión de cuarzo por galena; alteración de ésta a cerusita. Muestra tomada en Cerro Castellón, luz reflejada, N//.

Figura 6

«Nódulo de plomo» en arenisca: granos detríticos de cuarzo (gris oscuro) cementados por galena (blanca), parcialmente sustituida por cerusita (gris claro). Fracturación del cuarzo y corrosión del mismo por galena (ver detalle: fig. 7); algunas de las inclusiones de galena entre los granos de cuarzo podrían ser diagenéticas. Muestra tomada en el Cerro de la Monja, luz reflejada, N//.

sita— y óxidos de origen descendente. No obstante, de los —posteriores— análisis químicos de rozas en areniscas resultaron contenidos de Zn comparables a los de Pb, si bien con una total falta de correlación entre ambos metales (1).

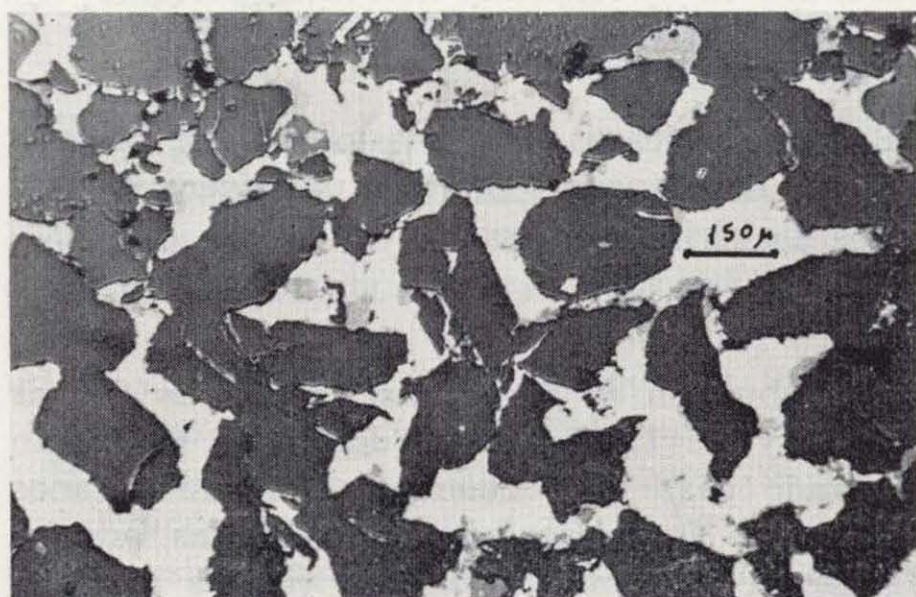
Esto no es difícil de explicar, teniendo en cuenta que el Zn es lixiviado con gran facilidad por oxidación supergénica —favorecida en las porosas y deleznable areniscas—, pudiendo así separarse del Pb —aunque hayan estado asociados genéticamente— y fijarse luego como smithsonita en zonas ricas en carbonatos. El hallazgo de blenda, asociada a la galena, en muestras obtenidas por sondeo —y, por tanto, fuera del alcance de la zona de oxidación superficial— en el mismo nivel de areniscas, confirma esta hipótesis.

Minerales de Pb

Son, con mucho, los más frecuentemente observados y de distribución más amplia. La mineralización es muy monótona: galena y cerusita, con anglesita (?) escasa y ocasional; es posible que la jarosita, que puede encontrarse en pequeñas proporciones, contenga también algo de Pb.

Cerusita suele presentarse en formas coloidales con anglesita ocasional, sustituyendo a galena —de la que pueden quedar restos submicroscópicos que obstaculizan la transparencia del carbonato— en diversos grados, pero a veces forma pequeñas masas independientes (sin galena), que forman parte del cemento, como un carbonato más. También se han observado cristales zonados de galena y cerusita (figs. 9 y 10). En todo caso,

(1) Lo contrario ocurre con los análisis de las rozas de las dolomías, para los que se ha deducido un alto coeficiente de correlación (0,92).



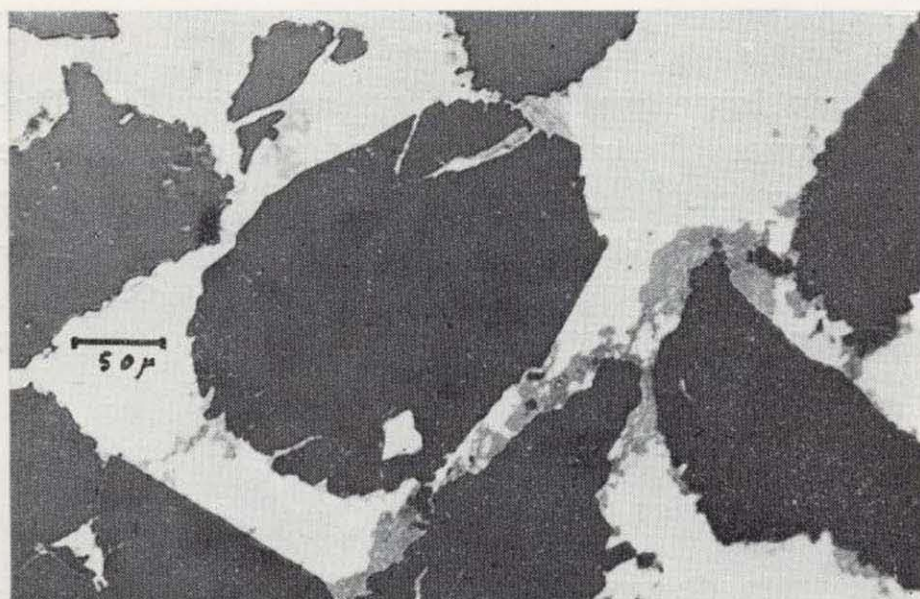


Figura 7
Detalle de la figura anterior.



Figura 8
Cuarzo corroído por galena y con inclusiones (diagenéticas probablemente) de este mineral, que se altera parcialmente a cerusita. Muestra, etc., íd. fig. anterior.

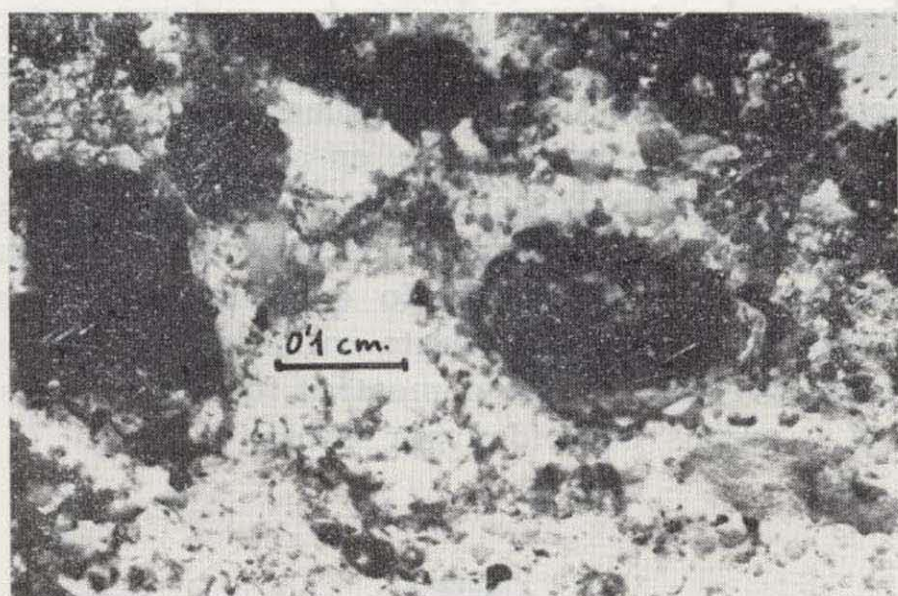


Figura 9
Arenisca (blanca) con formas cúbicas de galena (gris) zonada con cerusita (blanca), las cuales contienen inclusiones de cuarzo detrítico y están parcialmente sustituidas por cerusita coloidal (gris). Muestra íd. figs. 3 y 4, lupa binocular.

se puede afirmar que la mayor parte de la cerusita es secundaria de galena (figs. 3 a 8), o sea, que por lo que se refiere a la génesis de la mineralización, no necesitamos hacer distinción entre ambos minerales cuando la cerusita es pseudomórfica, ni tenerla en cuenta cuando es fruto de procesos descendentes que la hayan depositado alejada de la galena. Por tanto, en las observaciones que siguen —relaciones texturales de la galena, fresca o alterada, con la roca de caja— hablaremos de «mineralización plumbífera» sin especificar, pero teniendo en cuenta cuanto antecede (es decir, nos referiremos a galena o a su sustitución *in situ* por cerusita); dicha mineralización se encuentra de las siguientes formas:

I

Cementando granos detríticos, al tiempo que rellena poros o espacios intergranulares (figs. 5 a 8 y 11); este cemento no suele ser continuo ni siquiera a escala microscópica, sino que se acumula puntualmente, formando lo que antes (*de visu*) se ha designado como «nódulos», los cuales no son sino grupos de granos detríticos aglomerados por un cemento de galena (más o menos alterado a cerusita), en lugar del cemento calcítico o dolomítico que aglomera los granos adyacentes; el tamaño de estos «nódulos de plomo» oscila aproximadamente entre 1 mm. y 1 cm.

II

En fisuras o «vetillas» cuya observación detallada muestra que no son sino desgarres de tensión rellenos de galena (fig. 5). Son discontinuos, a veces incluso a escala microscópica, por lo que es impensable una circulación de fluidos a lo largo de las mismas, tal como se conoce en las mineralizaciones filonianas; no obstante, hemos preferido conservar el nombre de «vetillas» porque es más descriptivo. Aparte de esto, la mineralización rellena también microfisuras que atraviesan granos detríticos, suelda los fragmentos de dichos granos cuando están triturados por acciones tectónicas, etc. (figs. 6 y 7).

III

En forma de películas intergranulares muy finas que cementan los componentes detríticos, pero sin llegar a formar acumulaciones de mena apreciables a simple vista.

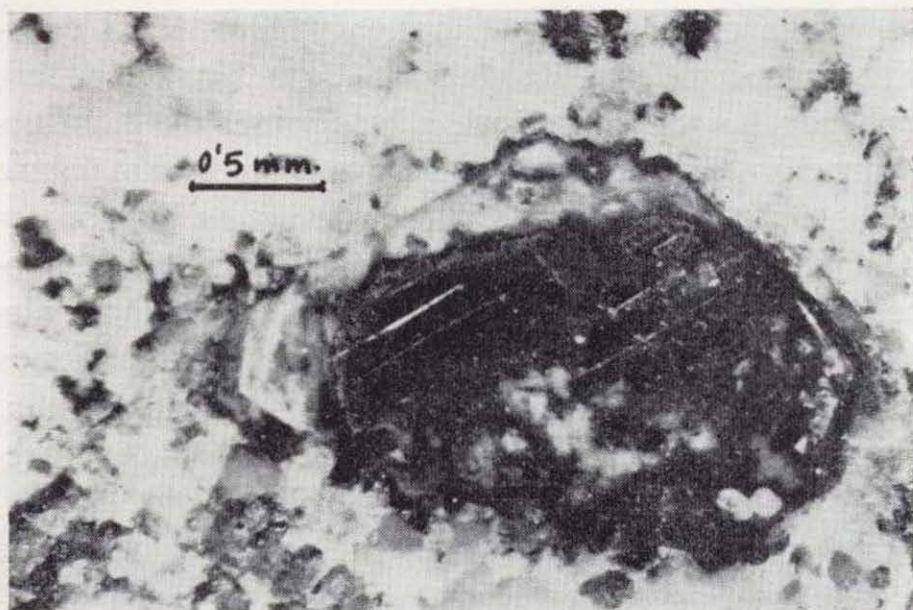
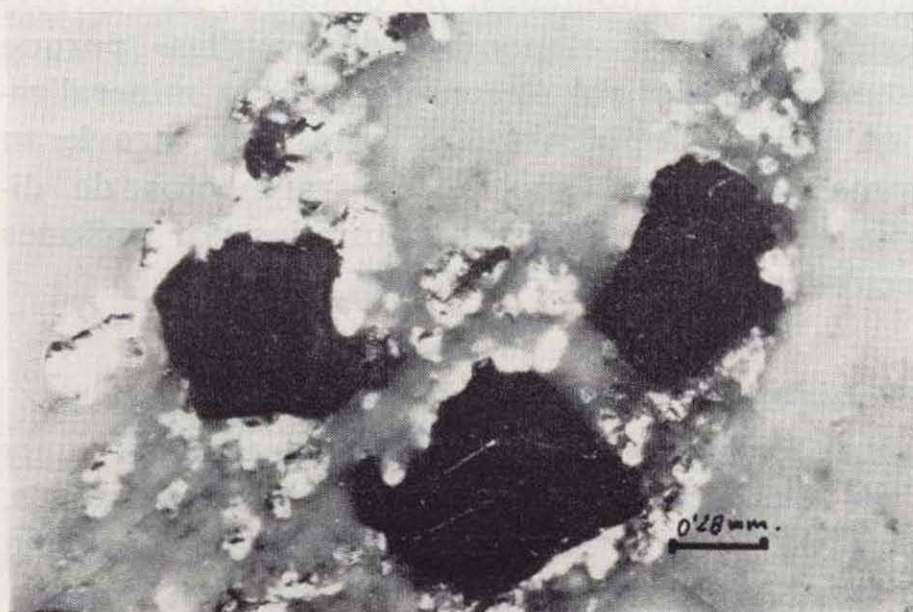


Figura 10
Detalle de figura 9.



Figura 11

Galena (negra) intersticial entre granos de cuarzo (blanco) y feldespato potásico alterado (gris) con inclusiones romboédricas de dolomita zonada; el mineral (oscuro) que destaca el zonado de la dolomita parece un óxido. Arenisca mineralizada del Cerro Castillón, luz transmitida, NX.



IV

Como impregnación: las ya mencionadas disseminationes o «nubes», que podrían considerarse como un caso intermedio entre el que antecede y el de los nódulos (el primero descrito), explicable tal vez por una mayor escasez de cemento, que impide la concentración de la galena por falta de espacio.

4.2.2. Dolomías

Se trata de una micrita brechificada y parcialmente recrystalizada. El componente es dolomita, pero a veces aparece también calcita, que se introduce como cemento que suelda los fragmentos brechificados, los cuales otras muchas veces están soldados por dolomita removilizada (grano más grueso). Galena y cerusita o smithsonita pueden llegar también a ser componentes esenciales. Otros componentes accesorios son: cuarzo, mica, esfena, rutilo, leucóxeno, limonita, calcosina, blenda, pirita, de los cuales los cinco primeros son detríticos y los dos siguientes, secundarios.

Pirita —generalmente limonitizada en diversos grados— aparece dispersa en forma de globulillos o de pequeños cristales más o menos idiomórficos. La presencia de este sulfuro repartido en la masa dolomítica indica la existencia de un ambiente reductor en la cuenca.

La galena se presenta casi siempre en fisuras, en las que ha cristalizado en granos de buen tamaño, junto con dolomita (figs. 12, 13 y 14). No obstante, las texturas observadas sugieren antes mecanismos de secreción lateral que una circulación libre de fluidos post-diagenéticos, procedentes del exterior. Además, en algunas muestras —si bien a título excepcional— la galena parece haberse formado en la matriz sin relación clara con fracturillas (fig. 16), lo que parece indicar que el Pb ya estaba presente en la roca. En estos casos, la galena tiende a mostrar formas cúbicas, más o menos corroídas por dolomita.

Figura 12

Galena en dolomía. Obsérvese corrosión de formas cúbicas de galena por dolomita y alteración parcial de aquella a cerusita, así como relación de la mineralización con fracturas (zonas ocupadas por dolomita recrystalizada, de grano mayor y más claro en la figura, aunque también se desarrolla exteriormente a las mismas). Cerro Castillón, lupa binocular.

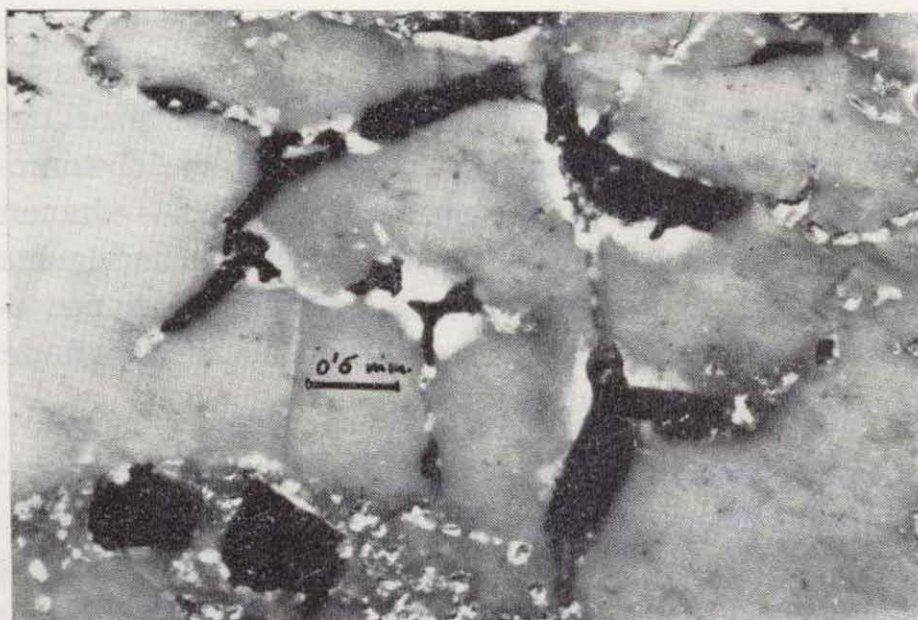


Figura 13

Mineralización plumbífera en vetas (v. leyenda fig. anterior, misma muestra). Dolomías de Cerro Castillón, lupa binocular.

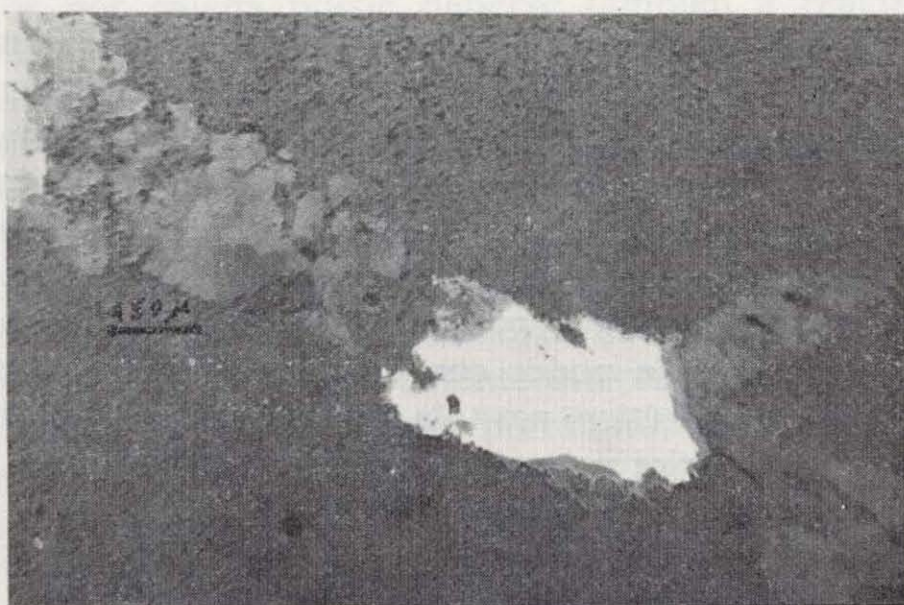


Figura 14

Veta de galena (blanca), con alteración marginal a cerusita (gris), y dolomita (gris, birreflectante) en matriz micrítica de dolomía (gris). La distribución geométrica de los minerales cristalizados no sugiere circulación de fluidos, sino más bien mecanismos de migración por secreción lateral hacia zonas de descompresión. Cerro Castillón, luz reflejada, N//.

Figura 15

Galena (negra) zonada con cerusita (gris, relieve alto) y sustituida parcialmente por ésta, en matriz dolomítica. Cerro Castillón, luz transmitida, N//.

La alteración a cerusita es también aquí muy frecuente: la cerusita puede permanecer *in situ*, como mineral pseudomórfico de galena, o bien impregnar la masa dolomítica. En algunos casos (fig. 15), no se puede excluir la posibilidad de que la cerusita se haya formado como mineral primario, pues es sabido que puede coexistir con galena en ciertos dominios (GARRELS y CHRIST, 1967).

A pesar de su inestabilidad en la zona de oxidación superficial, se han observado algunos cristallitos microscópicos de blenda incluidos en galena —que la protege de la oxidación— y también dispersos en la matriz dolomítica y parcialmente sustituidos por smithsonita, la cual llega a ser relativamente abundante.

4.3. LAS DISTINTAS ZONAS MINERALIZADAS

4.3.1. Las Animas

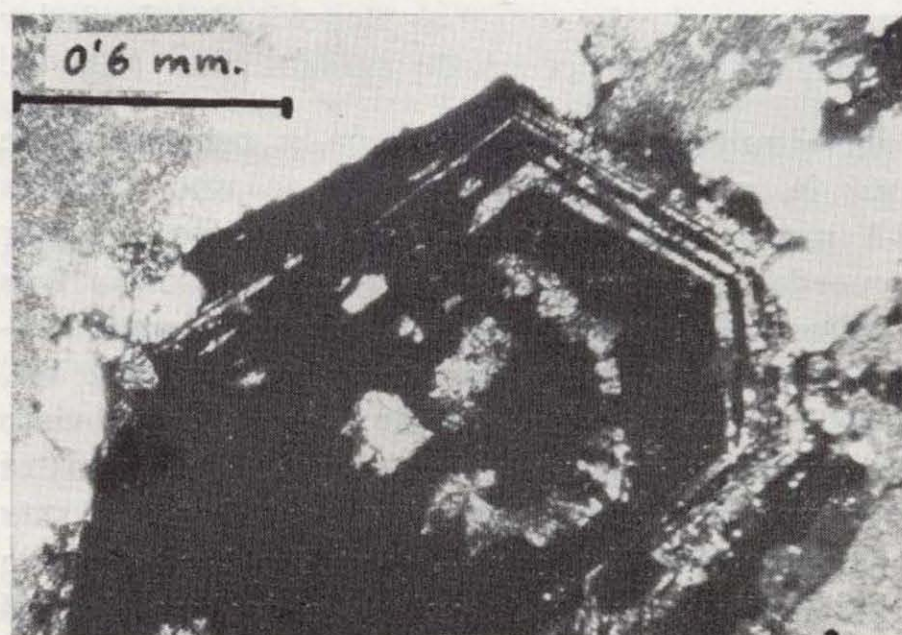
Mineralización plumbífera (sobre todo en las formas I, III y IV de 4.2.1) e indicios de mineralización cuprífera, en relación con niveles de areniscas blancas del Tramo B (epígrafe 3). En las muestras de testigos de sondeos estudiadas aparecen galena y blenda, con indicios de pirita, marcasita, arsenopirita, calcopirita, ilmenita, hematites.

4.3.2. Castillón

Areniscas (del Tramo B)

Mineralización tipos I (fig. 11) y II (fig. 5).

Es evidente que ha habido aquí una fase de



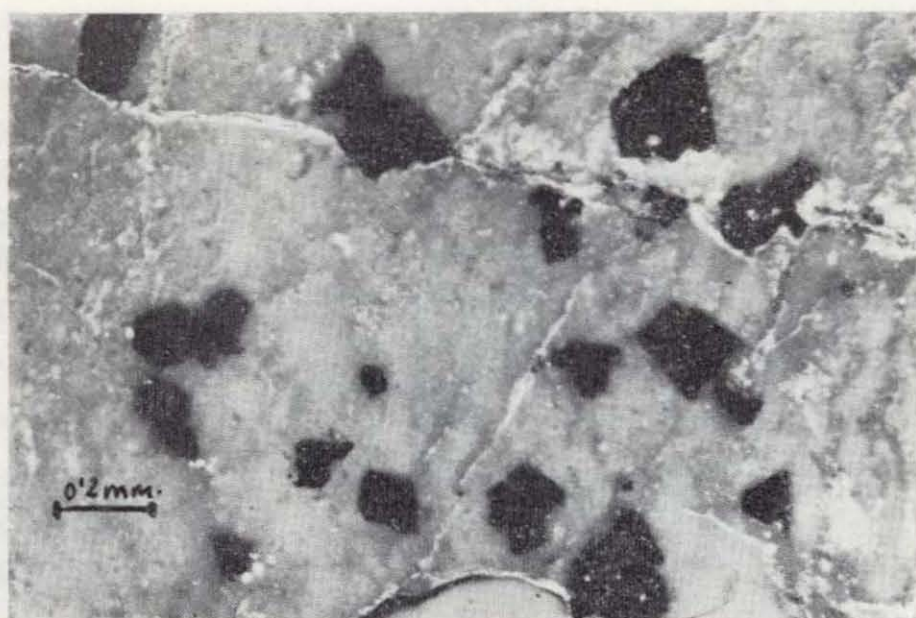


Figura 16

Cristales de galena que crecen en matriz dolomítica sin reducirse al ámbito de las fracturas (comp. con fig. 13). Cerro Castellón, lupa binocular.

mineralización estrechamente ligada a la tectónica, pero probablemente no es sino una removilización de minerales preexistentes, con o sin alteración de los mismos.

Dolomías (Tramo D)

Véase el estudio microscópico de este nivel, ya expuesto (4.2.2).

4.3.3. *La Saladilla (Tramo B)*

Mineralización plumbífera tipos I y II (figuras 3 y 5) con enriquecimientos de cobre en la base del tramo.

En una de las muestras el cemento contiene abundante smithsonita (descendente). Aparecen calcosina y covelina como impregnación de la roca y a modo de «corona» depositada alrededor de galena por procesos de cementación (fig. 3).

La «impregnación» de galena y cerusita tiene aquí la particularidad de formar unos granos (2-3 mm. de diámetro), cuyo contorno exterior recuerda a veces el de las formas idiomórficas —cubos— del primer mineral citado, aunque sustituido en gran parte por cerusita (figs. 9 y 10). Estas formas podrían sugerir —como se ha visto en otros yacimientos (AMSTUTZ, 1959; AMSTUTZ y BUBENICEK, 1967; TROYANOV, en GORZHEVSKIY y KOZERENKO, 1971, etc.)— cristalización primaria libre (sedimentaria) de galena o incluso deposi-

ción detrítica de granos de galena arrastrados ligeramente por alguna corriente; sin embargo, las relaciones de sustitución con los granos detríticos de cuarzo contiguos —sin salir del terreno de las interpretaciones texturales— hacen dudar de esta hipótesis en el presente caso, pues también cabe pensar en una cristalización posterior a la deposición del sedimento, acompañada de procesos de sustitución.

Se ha visto también alguna inclusión de pirita + marcasita (porosa) en galena.

4.3.4. *La Monja (Tramo E)*

Mineralización en formas I, II, IV. Ver figuras 6, 7 y 8.

Hay cristalillos diminutos de sulfuros (pirita) dispersos.

Se ven inclusiones de galena en cuarzo cuyo significado es dudoso, pues las mayores parecen ligadas a microfisuras y las menores son demasiado pequeñas para admitir una identificación segura; también se ven romboedros de dolomita zonados, con pequeñas inclusiones (alineadas según el zonado) que parecen de galena. Estas observaciones, de poder confirmarse, indicarían un origen diagenético para la galena, prescindiendo de las posteriores removilizaciones tectónicas.

4.3.5. *El Fraile*

La mineralización se encuentra aquí en un nivel —muy tectonizado y recrystalizado— de areniscas blancas (Tramo B) y se ha visto justamente al lado del contacto con otro nivel de areniscas rojas y arcillas; su distribución es irregular y tiende a formar grandes «nódulos» o «nubes» (hasta varios centímetros de diámetro), que destacan por su mayor resistencia a la erosión.

5. INTERPRETACION GENETICA

Cuanto antecede hace pensar en un origen sedimentario de las mineralizaciones que nos ocupan; sin embargo, no puede localizarse el área fuente por faltar relación entre los datos paleogeográficos de las zonas mineralizadas y el entorno

regional, a causa de la tectónica de mantos generalizada en estas formaciones. Probablemente los metales proceden de la erosión de un macizo continental, en cuyo borde se habrían formado las cuencas (2) de deposición de los materiales que actualmente forman las rocas mineralizadas.

Areniscas

Evidentemente, la mineralización en vetillas y fracturas es explicable por las manifiestas acciones tectónicas que han actuado sobre estas zonas y que pueden dar lugar a removilizaciones (presumiblemente de corto alcance) y redistribuciones de la mineralización (frecuentemente corroe los componentes detríticos), que ya entonces estaba depositada como cemento o rellenando intersticios o poros. Por tanto, es solamente este tipo el que tiene interés genético y, aun admitiendo que la corrosión de componentes detríticos por galena puede deberse también a reactivaciones de origen tectónico, su origen sedimentario parece indudable, tanto por las texturas observadas como por su relación exclusiva con el nivel que hemos denominado «areniscas blancas», en consonancia con los datos suministrados por la sedimentología —ambiente evaporítico o preevaporítico—, pues como es sabido la solubilidad del Pb es relativamente alta en disoluciones salinas. Puede suponerse, por tanto, en términos generales, que el Pb, el Zn y el Cu se han ido acumulando, gracias a un aporte continuo desde zonas continentales, en cuencas marginales, en cuyas aguas la intensa evaporación ha dado lugar a un continuo aumento de la concentración de dichos metales, los cuales han precipitado —principalmente en forma de sulfuros, a causa del ambiente reductor— ya sea antes, ya durante la diagénesis.

En efecto, considerando el origen de estas areniscas —relleno de paleocanales, etc.—, no es nada difícil de imaginar un proceso de acumulación del Pb en aguas salinas intersticiales o de imbibición y una precipitación del mismo —o removilización— durante la diagénesis, lo cual explicaría tanto la aparición de galena y blenda en forma de cemento —con las variantes ya descri-

tas— o de relleno intersticial como la corrosión de los granos detríticos por galena y/o carbonatos; esto explicaría asimismo la acumulación puntual e irregular de galena y blenda (nódulos, etc.), si se tiene en cuenta que los primeros cristalillos formados habrán actuado como núcleos de cristalización para el restante sulfuro todavía no precipitado y que, además, la cantidad total de éste —proporcionalmente pequeña si se compara con la del cemento carbonatado— en las aguas intersticiales era insuficiente para permitir una formación continua del mismo que impregnase toda la roca. Se han propuesto diversos mecanismos que podrían explicar esta precipitación (bacterias, interfases entre aguas salinas y aguas freáticas, compacción diagenética, migración de aguas salinas, etc.). Las observaciones realizadas hasta ahora en Vélez Rubio no ofrecen datos concluyentes para elegir entre ellas, aunque sí resulta claro que las texturas actuales son de carácter predominantemente diagenético.

Sólo una de las muestras estudiadas (figs. 9 y 10) ofrece texturas que puedan interpretarse como debidas a precipitación directa (sedimentaria) de galena, y aun así, no de una manera clara e incontestable, como ya hemos dicho. Por tanto, aun admitiendo la posibilidad de que tal proceso haya ocurrido ocasionalmente en el yacimiento que nos ocupa, la mayor parte de las observaciones nos indica que su contribución a la génesis de esta mineralización es, en todo caso, muy reducida, o bien que ha quedado borrada en su mayor parte por removilizaciones posteriores.

Se ha hablado también recientemente (RENFRO, 1974) de procesos de evaporación en litorales tipo «sabkha» —zonas costeras en regiones secas muy calurosas—, los cuales explicarían el transporte, la concentración y la precipitación de la mineralización. Esta hipótesis podría ser también admisible en el caso de las areniscas de Vélez Rubio, aunque carecemos de toda evidencia en su apoyo.

Dolomías

Como se ha explicado, la aparición de galena (en cristales visibles) en las dolomías va ligada casi exclusivamente a la fracturación. No obstante, esto no significa que su origen sea epigenético o que haya de suponer un aporte exterior post-diagenético, pues es sabido (GORZHEVSKIY y KOZERENKO, 1971) que la dolomía es una roca

(2) El término «cuenca» se emplea aquí en sentido totalmente general: depresiones, cubetas, paleocanales, zonas costeras restringidas, etc.

capaz de absorber fácilmente el Pb, separándolo así de las disoluciones que lo contengan. Dicho plomo podría cristalizar luego, en presencia de azufre, en forma de galena, cuando la fracturación —tal vez diagenética (?)— haya creado el espacio necesario.

Además, el elevado contenido en Pb que parece ser, en general, característico de las dolomías en las Cadenas Béticas (Espí, 1977; TONA, 1973) no inclina a considerar la hipótesis epigenética como probable. Y, en todo caso, aun cuando se ha formado galena claramente en vetillas, las texturas microscópicas observadas sugieren más bien mecanismos de secreción lateral que fluidos en circulación continua a través de la roca.

Efectivamente, hemos visto ya (fig. 16) que la cristalización de galena no se reduce a los límites de las fracturillas, sino que se prolonga también en la matriz, y en algunos casos incluso se producen cristales subidiomórficos o idiomórficos de galena dispersos en la matriz y más o menos corroídos por dolomita. Pensamos que la interpretación más coherente de estas observaciones es suponer, a partir del Pb contenido en la roca, la formación diagenética —en algunos casos, tal vez prediagenética (?)— de una parte de la galena, seguida de secreción lateral: los efectos de presión —litostática o tectónica— y la subsiguiente fracturación favorecen la concentración del SPb en cristales grandes de galena, al crear, por una parte, un gradiente de presión que moviliza los iones y, por otra, espacios huecos en los que éstos pueden precipitar; asimismo, los cristales que eventualmente se hubieren podido formar con anterioridad, dispersos en la masa, serían corroídos y tenderían a desaparecer. Evidentemente la secreción lateral afecta también a la dolomita, la cual acompaña a la galena como relleno de estas fisurillas.

BIBLIOGRAFIA

- AMSTUTZ, G. V.: *Syngenetic zoning in ore deposits*. Proc. Geol. Assoc. Can., 2, 95-114 (1959).
- AMSTUTZ, G. C., y BUBENICEK, L.: *Diagenesis in Sedimentary Mineral Deposits*. En LARSEN, G., y CHILINGAR, G. V., editores: *Diagenesis in Sediments. Developments in Sedimentology*, 8, Elsevier, Amsterdam, pp. 417-475 (1967).
- ANDRIEUX, J.; FONTBOTE, J. M., y MATTAUER, H.: *Sur un modele explicatif de l'arc de Gibraltar*. Earth and Planetary science letters, v. 12, núm. 2, oct. 1971 (1971).
- DE VRIES, W. C. P., y ZWAAN, K. B.: *Alpujarride Succession in the central sierra de las Estancias, Province of Almería, SE Spain*. Koninkl. Akademe Van Wetenschappen-Amsterdam (1967).
- ESPÍ, J. A.: *Aspecto metalogénico de los criaderos de flúor-plomo de Sierra de Gádor (Almería)*. Tesis doctoral. E. T. S. de Ing. de Minas de Madrid, 184 pp. (1977).
- GARRELS, R. M., y CHRIST, C. L.: *Solutions, Minerals, and Equilibria*. Harper and Row, New York, 450 pp. (1965).
- GORZHEVSKIY, D. I., y KOZERENKO, V. N.: *Origin of Stratiform Lead-Zinc Deposits*. Internat. Geology Rev., v. 14, número 5, pp. 512-522. Traducido de O proiskhozhdenii stratiformnykh svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy, Sovetskaya Geologiya, 1971, núm. 7, pp. 31-46 (1971).
- RENFRO, A. R.: *Genesis of Evaporite-Associated Stratiform Metalliferous Deposits. A Sabkha Process*. Econ. Geol., 69, 33-45 (1974).
- TONA, F.: *Positions des Horizons Dolomitiques Mineralisés en Fluorine et Galene au Sein des Sediments Triasiques de la Sierra de Lujar (Granada)*. Evolution et Geo-chimie. Tesis doctoral. Univ. de Paris VI, 166 pp. (1973).
- GEEL, T.: *The Geology of the Betic of Málaga, the sub-betic and the zone between these two units in the Vélez Rubio area (Southern Spain)*. Thesis Amsterdam. Gue Papers of Geology, Series I, n.º 5 (1973).
- VOERSMANS, F.; GEEL, T., y BAENA, J. (en prensa): *Memoria explicativa de la Hoja 1:50.000 de Vélez Rubio (24-39)*. IGME.

Recibido en marzo de 1978.